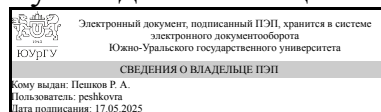


ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель специальности



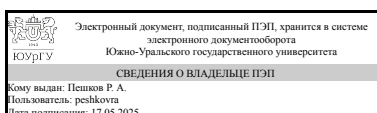
Р. А. Пешков

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины 1.О.37 Проектирование комбинированных реактивных двигателей
для специальности 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
уровень Специалитет
форма обучения очная
кафедра-разработчик Двигатели летательных аппаратов

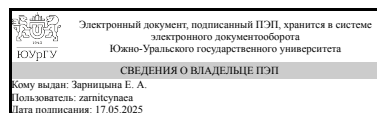
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей, утверждённым приказом Минобрнауки от 12.08.2020 № 979

Зав.кафедрой разработчика,
к.техн.н., доц.



Р. А. Пешков

Разработчик программы,
старший преподаватель



Е. А. Зарницына

1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины: формирование системы профессиональных знаний и практических навыков в области теории, расчета и проектирования комбинированных реактивных двигателей (КРД). Задачи дисциплины: - освоение категорийно-понятийного аппарата дисциплины; - изучение основных методов расчета основных узлов и агрегатов КРД; - систематизация основных принципов проектирования узлов и агрегатов КРД.

Краткое содержание дисциплины

Основные конструктивные элементы КРД Проектирование КРПДТ Регулирование тягово-импульсных характеристик КРД Расчет характеристик КРД Испытания КРД

2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Разработка моделей и проведение тепловых, гидравлических, газодинамических и термохимических расчетов при проектировании узлов и агрегатов двигателей летательных аппаратов, включая элементы автоматики	Знает: основные виды жидкостных и твердых топлив; основные характеристики рабочих процессов в комбинированных реактивных двигателях (КРД); теорию и расчетные методики по проектированию КРД; виды КРД и их назначение в составе ЛА; принципы регулирования КРД Умеет: рассчитывать основные характеристики КРД, их узлов и агрегатов; формулировать задания для расчета для расчета и конструирования КРД Имеет практический опыт: владения понятийным аппаратом в среде КРД; методами проектирования КРД, их узлов и агрегатов с использованием информационных технологий

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
1.Ф.04 Химическая кинетика и теория горения ракетных топлив, 1.О.35 Автоматика и регулирование авиационных и ракетных двигателей, 1.О.34 Проектирование авиационных газотурбинных двигателей, 1.Ф.06 Теория и расчет газогенераторов	Не предусмотрены

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
------------	------------

1.О.35 Автоматика и регулирование авиационных и ракетных двигателей	Знает: законы и принципы автоматического управления и регулирования ракетных двигателей; методы математического описания процессов регулирования в линейных и нелинейных системах; методы исследования устойчивости и качества линейных систем управления; статические и динамические характеристики основных агрегатов и двигательной установки в целом; элементы автоматики, их назначение, принцип действия, методы описания и исследования Умеет: использовать законы линейного управления и регулирования; выбирать методы анализа устойчивости и определения качества регулирования; обосновывать выбор необходимых законов управления двигательной установки и расстановки элементов автоматики пневмогидравлических схем; рассчитывать статические и динамические характеристики узлов и элементов жидкостной двигательной установки Имеет практический опыт: владения методами расчета параметров систем автоматического регулирования, оценки качества и исследования устойчивости двигательных установок и их систем
1.Ф.06 Теория и расчет газогенераторов	Знает: основные виды жидкостных и твердых топлив; основные характеристики рабочих процессов в газогенераторах; теорию и расчетные методики по проектированию газогенераторов; типы газогенераторов и их назначение в составе ЛА; принципы регулирования газогенераторов Умеет: рассчитывать основные характеристики газогенераторов и их узлов; формулировать задания для расчета и проектирования газогенератора Имеет практический опыт: владения методами проектирования и расчета газогенераторов и их узлов с использованием информационных технологий
1.О.34 Проектирование авиационных газотурбинных двигателей	Знает: историю отечественной и зарубежной авиационной техники, место и вклад выдающихся ведущих инженеров и конструкторов, конструкторских бюро, научно-исследовательских институтов России и мира в области авиационной техники, основные принципы действия и устройства проектируемых изделий; методологию разделения двигателя Умеет: способность собирать и анализировать научно-техническую информацию, учитывать современные тенденции развития и вклад выдающихся инженеров в области отечественной и зарубежной авиационной техники; использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники в профессиональной деятельности, разрабатывать

	рабочую проектную документацию, анализировать и сопоставлять конструктивные и компоновочные схемы проектируемых ГТД Имеет практический опыт: формировать и отстаивать свою гражданскую позицию на основе патриотизма, осознания социальной значимости своей будущей профессии, устойчивой мотивации к профессиональной деятельности, осознавать принадлежность к выдающим научно-педагогическим школам страны и приверженность к корпоративным ценностям отечественной авиационной отрасли, проектирования компоновочных конструктивных и силовых схем основных узлов авиационных ГТД различного типа и назначения; владения методами разработки конструктивных и компоновочных чертежей; выполнения проекторочных расчетов, оценивания ресурса и уровня надежности разрабатываемых в процессе проектирования узлов и деталей, систем и агрегатов авиационных ГТД
1.Ф.04 Химическая кинетика и теория горения ракетных топлив	Знает: классификацию применяемых ракетных топлив, степень их опасности и вредного воздействия на организм человека и окружающую среду; эксплуатационные, экономические и экологические требования, предъявляемые к ракетным топливам, методы получения и свойствах, характеристиках и области применения основных жидких ракетных топлив, об основных тенденциях и направлениях разработки перспективных топлив; процессы, протекающие при сгорании топлива; основные законы химической кинетики; основы теории распространения пламени в горючих смесях; основы теории кинетического и диффузионного горения; физико-химические основы определения и методики расчёта состава и параметров недиссоциированных и диссоциированных продуктов сгорания для различных топливных композиций в однородном и гетерогенном составе продуктов сгорания Умеет: правильно подбирать конструкционные материалы и необходимые конструктивные исполнения элементов жидкостных ракетных двигателей для минимизации вероятности возникновения чрезвычайной ситуации и степени её неблагоприятного воздействия на окружающую среду и рабочий персонал, осуществлять выбор компонентов топлива и оптимальной топливной пары; составлять системы уравнений для конкретной топливной пары, определять коэффициенты в камере и на срезе сопла Имеет практический опыт: классификации ракетных

	топлив, расчета энергетических характеристик топливной пары, экспериментального и расчётно-теоретического анализа процессов горения и использования современных методик определения параметров процессов в агрегатах двигателя
--	--

4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч., 74,5 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах
		Номер семестра
		10
Общая трудоёмкость дисциплины	144	144
<i>Аудиторные занятия:</i>	64	64
Лекции (Л)	32	32
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	16	16
Лабораторные работы (ЛР)	16	16
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	69,5	69,5
Подготовка к промежуточной аттестации	29,5	29,5
Проработка лекционного материала	40	40
Консультации и промежуточная аттестация	10,5	10,5
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	экзамен

5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Основные конструктивные элементы КРД	22	8	4	10
2	Проектирование КРД	16	8	8	0
3	Регулирование тягово-импульских характеристик КРД	4	4	0	0
4	Расчет характеристик КРД	18	8	4	6
5	Испытания КРД	4	4	0	0

5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Классификация КРД	1
2	1	Схема ЛА с КРД	1
3	1	Конструкции маршевых ступеней КД	2
4	1	Конструктивные схемы и конструкции стартово-разгонных ступеней КРД	1,5
5	1	Конструкции ГГ с регулируемым расходом	1,5

6	1	Переходные устройства	1
7	2	Этапы разработки КРД	0,5
8	2	Требования к КРД при проектировании	0,5
9	2	Формирование основных исходных данных	0,5
10	2	Термодинамический расчет топлива стартово-разгонной и маршевой ступеней КРД	2
11	2	Расчет равновесных термодинамических характеристик продуктов сгорания ТТ	2
12	2	Распределение массы заряда ТТ по ступеням и геометрические параметры КРД	0,5
13	2	Расчет характеристик ГГ маршевых ступеней КРД	2
14	3	Высотно-скоростные и тягово-экономические характеристик КРД	2
15	3	Выбор параметров регулирования расхода топлива и законов управления полетом ракеты	2
16	4	Расчет характеристик ВЗУ и сопел	4
17	4	Расчет аэродинамического нагрева КРД	4
18	5	Виды испытаний, испытаний ВЗУ в аэродинамической трубе, определение в аэродинамической трубе характеристик внешнего обтекания ракеты	1,5
19	5	Испытания двигателя на стенде с присоединенным трубопроводом подачи горячего воздуха	1,5
20	5	Летные испытания КДУ в составе ракеты	1

5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	1	Термодинамические циклы идеальных ВРД и ПРД. Расчет удельных характеристик	2
2	1	Выбор типов и режимов работы конструктивных элементов КРД: воздухозаборник, камера сгорания, сопло	2
3	2	Проектирование стартового РДТТ	4
4	2	Проектирование воздухозаборного устройства маршевого КРД	4
5	4	Моделирование внутрибаллистических процессов стартового РДТТ	2
6	4	Моделирование газодинамической картины течения в воздухозаборном устройстве маршевого КРД	2

5.3. Лабораторные работы

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание лабораторной работы	Кол-во часов
1	1	Виды КРД	2
2	1	Конструкция воздухозаборного устройства с изоэнтропным контуром образующей поверхности предварительного сжатия на примере изделия 3М8	2
3	1	Конструкция многоканального воздухозаборного устройства на примере изделия 3М9	2
4	1	Конструкция газогенератора и маршевой камеры сгорания КРД на примере изделия 3М9	2
5	1	Конструкция стартового РДТТ и соплового блока КРД на примере изделия 3М9	2

6	4	Применение программного пакета вычислительной гидро-газодинамики при моделировании внутрибаллистических процессов стартового РДТТ	3
7	4	Применение программного пакета вычислительной гидро-газодинамики при моделировании газодинамической картины течения в воздухозаборном устройстве маршевого КРД	3

5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Подготовка к промежуточной аттестации	См. основную и дополнительную литературу	10	29,5
Проработка лекционного материала	См. основную и дополнительную литературу	10	40

6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се-местр	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учитывается в ПА
1	10	Текущий контроль	КТ1: Расчёт и математическое моделирование внутрибаллистических процессов стартового РДТТ	1	100	Ответ предоставляется в письменном виде в форме пояснительной записки и приложения, содержащего результаты математического моделирования. Обучающийся получает 100 баллов в случае, если: ход решения чётко изложен, использованы верные формулы, получен верный ответ. За ошибки балл уменьшается согласно приведённому списку: а) допущены ошибки в расчёте -- минус 5 баллов; б) отсутствуют пояснения хода расчёта -- минус 10 баллов; в) использованы неверные формулы (формулы имеют ошибки в переменных) -- минус 15 баллов; г) использованы неверные формулы (использованные формулы не соответствуют	экзамен

						постановке задачи) -- минус 30 баллов; д) не представлены результаты математического моделирования, либо представленные результаты не соответствуют постановке задачи -- минус 30 баллов; е) ответ представлен после указанного срока -- минус 10 баллов. В случае непредоставления ответа обучающийся получает 0 баллов.	
2	10	Текущий контроль	КТ2: Расчёт и математическое моделирование воздухозаборного устройства КРД	1	100	Ответ предоставляется в письменном виде в форме пояснительной записки и приложения, содержащего результаты математического моделирования. Обучающийся получает 100 баллов в случае, если: ход решения чётко изложен, использованы верные формулы, получен верный ответ. За ошибки балл уменьшается согласно приведённому списку: а) допущены ошибки в расчёте -- минус 5 баллов; б) отсутствуют пояснения хода расчёта -- минус 10 баллов; в) использованы неверные формулы (формулы имеют ошибки в переменных) -- минус 15 баллов; г) использованы неверные формулы (использованные формулы не соответствуют постановке задачи) -- минус 30 баллов; д) не представлены результаты математического моделирования, либо представленные результаты не соответствуют постановке задачи -- минус 30 баллов; е) ответ представлен после указанного срока -- минус 10 баллов. В случае непредоставления ответа обучающийся получает 0 баллов.	экзамен
3	10	Текущий контроль	КТ3: Стартово-разгонные РДТТ и маршевые РПДТ	1	1	Письменный ответ на один вопрос из списка (см. ФОС). Критерии оценивания: 1 балл - дан полный, правильный ответ, 0,5 балла - частично правильный ответ, 0 баллов - неправильный ответ или ответ отсутствует.	экзамен
4	10	Текущий	КТ4: Воздухозаборные	1	1	Письменный ответ на один вопрос	экзамен

		контроль	устройства РПДТ			из списка (см. ФОС). Критерии оценивания: 1 балл - дан полный, правильный ответ, 0,5 балла - частично правильный ответ, 0 баллов - неправильный ответ или ответ отсутствует.	
5	10	Текущий контроль	КТ5: Газогенераторы и регуляторы расхода РПДТ	1	1	Письменный ответ на один вопрос из списка (см. ФОС). Критерии оценивания: 1 балл - дан полный, правильный ответ, 0,5 балла - частично правильный ответ, 0 баллов - неправильный ответ или ответ отсутствует.	экзамен
6	10	Текущий контроль	КТ6: Лабораторная работа "Изучение стартово-разгонного РДТТ и маршевого РПДТ на примере изделия 3М9"	1	100	При выполнении работы в срок и без замечаний обучающийся получает 100 баллов за данную контрольную точку. Получаемые баллы снижаются, если: а) работа не сдана в срок (-10 баллов); б) обучающийся не смог пояснить пункт доклада (см. ФОС) при защите работы (-15 баллов за каждый пункт, не упомянутый при докладе); в) обучающийся не смог дать ответ на заданный вопрос при пояснении пункта доклада (-5 баллов за каждый вопрос, оставшийся без ответа обучающегося). Общее количество вычитаемых баллов (см. пп. а-в) не может быть больше 60 . В случае непрохождения обучающимся защиты данной лабораторной работы обучающийся получает за данную контрольную точку 0 (ноль) баллов.	экзамен
7	10	Текущий контроль	КТ7: Лабораторная работа "Изучение воздухозаборного устройства с изобэнтропическим профилем поверхности предварительного сжатия на примере изделия 3М8 и многоканального воздухозаборного устройства на примере изделия 3М9"	1	100	При выполнении работы в срок и без замечаний обучающийся получает 100 баллов за данную контрольную точку. Получаемые баллы снижаются, если: а) работа не сдана в срок (-10 баллов); б) обучающийся не смог пояснить пункт доклада (см. ФОС) при защите работы (-15 баллов за каждый пункт, не упомянутый при докладе);	экзамен

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

- б) дополнительная литература:*

в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

2) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

- из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:*

- ## Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Основная литература	ЭБС издательства Лань	Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Проектирование комбинированных реактивных двигателей» для студентов специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» очной формы обучения : методические указания / составители В. А. Митрофанов. — Воронеж : ВГТУ, 2023. — 40 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/340460 (дата обращения: 17.05.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2	Дополнительная литература	ЭБС издательства Лань	Михальцев, В. Е. Расчет параметров цикла при проектировании газотурбинных двигателей и комбинированных установок : учебное пособие / В. Е. Михальцев, В. Д. Моляков ; под редакцией И. Г. Суровцева. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. — 58 с. — ISBN 978-5-7038-3814-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/52278 (дата обращения: 17.05.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3	Основная литература	ЭБС издательства Лань	Испытания и стендовая отработка комбинированных реактивных двигателей : учебное пособие / В. А. Сорокин, Ю. М. Милёхин, В. И. Томак [и др.]. — Москва : МГТУ им.

			Баумана, 2022. — 230 с. — ISBN 978-5-7038-5840-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/461036 (дата обращения: 17.05.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4	Дополнительная литература	ЭБС издательства Лань	Технология производства ракетно-прямоточных двигателей на твердом топливе : учебное пособие / В. А. Сорокин, Д. А. Ягодников, Л. С. Яновский [и др.] ; под редакцией В. А. Сорокина, Д. А. Ягодникова. — Москва : МГТУ им. Баумана, 2019. — 323 с. — ISBN 978-5-7038-5030-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/172757 (дата обращения: 17.05.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5	Основная литература	ЭБС издательства Лань	Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок : учебник / А. Н. Арбеков, А. Ю. Вараксин, В. Л. Иванов [и др.] ; под общ. редакцией А. Ю. Вараксина. — 5-е изд., перераб. и доп. — Москва : МГТУ им. Баумана, 2023. — 770 с. — ISBN 978-5-7038-5738-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/460994 (дата обращения: 17.05.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Перечень используемого программного обеспечения:

Нет

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Лабораторные занятия	100 (2в)	Изделия УЦ РКТ
Лекции	244 (2)	Мультимедийные средства передачи информации
Практические занятия и семинары	240 (2)	Авиационный двигатель
Самостоятельная работа студента	100 (2в)	Изделия УЦ РКТ
Контроль самостоятельной работы	100 (2в)	Изделия УЦ РКТ